

La investigación sobre la influencia de las estrategias y la motivación en la resolución de problemas: Implicaciones para la enseñanza



Joan J. Solaz-Portolés¹, Vicent Sanjosé² y Carlos B. Gómez³

^{1,3}Departament Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Avinguda Tarongers, 4. 46022. València. Universitat de València. España.

²Institut Universitari Polibienestar, Departament Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. España.

E-mail: Joan.Solaz@uv.es

(Recibido el 2 de Octubre de 2011; aceptado el 5 de Diciembre de 2011)

Resumen

En este trabajo se analiza el papel de las estrategias y de la motivación de los estudiantes en la resolución de problemas mediante una revisión bibliográfica que cubre diferentes áreas de conocimiento. Se distinguen dos tipos de estrategias en resolución de problemas, las cognitivas y las metacognitivas, y se incide especialmente, por su relevancia, en las metacognitivas. Se destaca, asimismo, la influencia de la motivación en el éxito en la resolución de problemas. A partir de toda la información recopilada, se extraen las oportunas consecuencias didácticas.

Palabras clave: Estrategias, metacognición, motivación, resolución de problemas.

Abstract

In this paper it is analysed the role of students' strategies and motivation in problem solving by means of a review of research that includes relevant publications about these subjects. It is distinguished two types of strategies in problem solving: cognitive and metacognitive. Metacognitive strategies are especially stood out because of their significance. Motivation is also pointed out as very influential in problem solving success. Starting from compiled information we extract the convenient didactic implications.

Keywords: Strategies, metacognition, motivation, problem solving.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.G-, 01.40.Ha.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas se ha convertido en eje fundamental en el desarrollo del currículum científico de la educación media y superior. Se puede encontrar una gran cantidad de bibliografía sobre resolución de problemas en ciencias. En muchos de los trabajos se denuncian las insuficiencias didácticas del planteamiento usual de la resolución de problemas en el aula [1]. Así, los problemas planteados en las aulas suelen ser mayoritariamente de carácter algorítmico, esto es, mera aplicación rutinaria de reglas, leyes y fórmulas, donde se exige solamente resolver problemas similares a los ya resueltos [2]. En este contexto educativo, es poco previsible que se alcance una adecuada comprensión conceptual de los contenidos o que se desarrollen habilidades en el estudiante que le permitan abordar con garantías de éxito problemas próximos a la vida real, o que estén mal estructurados o definidos [3].

En los trabajos de Solaz-Portolés y Sanjosé [4, 5] se han analizado distintos procesos y variables cognitivas que influyen en la resolución de problemas, y se han planteado

acciones instruccionales que podrían mejorar los resultados en la resolución de problemas. No obstante, Jiménez y Segarra [6] señalan que el principal componente de un adecuado enfoque didáctico en la resolución de problemas es que el estudiante reflexione acerca de sus recursos cognitivos y cómo emplearlos.

En este sentido, Schraw, Crippen y Hartley [7] han analizado las implicaciones que para la educación científica tienen los principales componentes de la denominada teoría del aprendizaje autorregulado. Los pilares que sustentan dicha teoría son la cognición, la metacognición y la motivación. La cognición incluye las destrezas que permiten a los estudiantes codificar, memorizar y recuperar la información. La metacognición engloba todas las habilidades que ayudan a comprender, controlar y evaluar todos los procesos cognitivos. La motivación comprendería las creencias y las actitudes que afectan al uso y desarrollo de las habilidades cognitivas y metacognitivas.

Parece que de todo lo dicho anteriormente se colige que el desarrollo en el alumnado de estrategias de carácter cognitivo y metacognitivo, así como un diseño

instruccional que tenga en consideración la importancia de la motivación en el aprendizaje de resolución de problemas, conducirá a una mejora substantiva en el éxito de la resolución. Nuestro propósito en este trabajo es recoger, sistematizar y analizar toda la información que se ha publicado al respecto y extraer las oportunas consecuencias didácticas.

II. ESTRATEGIAS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Desde el punto de vista de la psicología cognitiva el aprendizaje depende de la capacidad de procesar la información y de una base de conocimientos apoyada sobre habilidades cognitivas y metacognitivas [8]. Las estrategias cognitivas y metacognitivas están íntimamente relacionadas en tanto que ambas están implicadas en la cognición humana; sin embargo, son conceptualmente distintas. Así, de acuerdo con Correa, Castro y Lira [9], las estrategias cognitivas son modalidades de trabajo intelectual que permiten adquirir, codificar y recuperar la información; y las estrategias metacognitivas son mediaciones del proceso cognitivo que permiten hacer consciente y autorregular dicho procesamiento, tomando decisiones más efectivas y logrando un aprendizaje en profundidad. Flavell [10], por su parte, afirma que la función principal de una estrategia cognitiva es ayudar a alcanzar la meta de cualquier empresa cognitiva y una estrategia metacognitiva tiene como función informar sobre la empresa o el propio progreso. Las primeras ayudan a hacer un progreso cognitivo y las segundas a controlarlo.

En este sentido, Weinstein y Meyer [11] sostienen que una estrategia cognitiva es un plan para movilizar recursos cognitivos, como por ejemplo las acciones que se pueden realizar para conseguir retener información en la memoria a largo plazo y tenerla accesible, así como las que pueden llevar a cabo para organizar la información y buscar relaciones. Estos autores apuntan una serie de características de las estrategias cognitivas, entre ellas citaremos su direccionalidad hacia determinados objetivos, su demanda de esfuerzo y volitividad, y que son específicas para un determinado contexto. Tanto las estrategias metacognitivas como las cognitivas necesitan de determinadas habilidades, de voluntad y de autorregulación, aunque las metacognitivas tienen al menos un rasgo diferenciador: no son específicas para una determinada situación, por el contrario, están basadas en habilidades genéricas [12]. Estas estrategias metacognitivas se focalizan principalmente en la planificación para llevar a cabo, controlar y evaluar los procesos cognitivos [13].

En el estudio Chi, Bassok, Lewis, Reimann y Glaser [14] se pone de manifiesto que puede encontrarse una amplia variedad en el conocimiento y uso exitoso de estrategias cognitivas y metacognitivas. Por su parte, Bielaczyc, Pirolli y Brown [15] en una investigación llevada a cabo con estudiantes de alta capacidad, encontraron que estos estudiantes no conocían necesariamente los conocimientos,

los modos de procesar la información o las estrategias implicadas en actividades de alto nivel cognitivo, como por ejemplo la resolución de problemas. Además, mostraron que aquellos estudiantes a los que se enseñaban estrategias cognitivas y metacognitivas mejoraban significativamente en las tareas de aprendizaje cuando las aplicaban.

De acuerdo con Sternberg [16] hay buenas razones para pensar que el desarrollo mediante un adecuado planteamiento didáctico de habilidades cognitivas y metacognitivas prepara a los estudiantes para aprender a aprender. No obstante, se ha de tener presente que estas habilidades dependen de la voluntad y la autorregulación del estudiante [12], y que éstas solamente pueden ser adquiridas a través del aprendizaje individual sobre uno mismo y nuestras destrezas, con la correspondiente carga de (auto) responsabilidad que esto comporta [17].

En lo que sigue, nos referiremos a estrategias cognitivas en resolución de problemas. De las estrategias metacognitivas daremos cuenta en el apartado siguiente, dedicado específicamente a la metacognición. Comenzaremos con el trabajo de Simon y Simon [18] en el que observó que las diferencias entre expertos y novatos en la resolución de problemas de física radicaba en la estrategia de resolución que empleaban. Los expertos usaban una estrategia “hacia adelante” mientras que los novatos una “hacia atrás”. Los novatos fijaban en primer lugar el objetivo y buscaban variables y ecuaciones que les permitieran llegar al objetivo. Los expertos escogían en primer lugar las variables implicadas, y generaban las ecuaciones que les parecían pertinentes hasta llegar a la solución. Los estudios de Anderson, Greeno, Kline y Neves [19] y Priest y Lindsay [20] parecían poner en cuestión las conclusiones de Simon y Simon. No obstante, Singh [21] puso en evidencia las limitaciones de estos dos últimos trabajos.

McDermott y Larkin [22] constataron en un análisis de protocolos verbales que los expertos llevaban a cabo un análisis cualitativo pormenorizado del problema y los novatos no lo hacían. Estos mismos autores comprobaron más tarde que los expertos solían usar durante la resolución diagramas que contenían la información más relevante del enunciado de problema [23]. Scheonfeld [24] descubrió que los novatos seleccionan un camino para resolver el problema y raramente se desvían de él, incluso aunque sea infructuoso para llegar a la solución. Los expertos van dirigidos por un determinado objetivo y generan diferentes enfoques de resolución que ponen a prueba constantemente. Santos [25] demostró que los buenos estudiantes construyen varias representaciones mentales del problema de carácter cualitativo, en cambio los estudiantes de bajo nivel se limitan a operar numéricamente sin llegar a elaborar una estructura cualitativa del problema.

En relación a esta última cuestión mencionaremos el trabajo de Greca y Moreira [26], en el que se concluye que los estudiantes que obtenían mejores resultados en resolución de problemas de electricidad y magnetismo eran aquellos que habían formado un modelo mental de campo electromagnético que se aproximaba al que elaboran los

expertos (físicos). Los estudiantes que obtuvieron peores resultados se limitaban a trabajar con proposiciones (fórmulas, definiciones o enunciados) aisladas, no integradas en un modelo mental del concepto de campo electromagnético, y que aplicaban mecánicamente. Estos últimos estudiantes resolvían los problemas por ensayo y error, construían mapas conceptuales de escasa diferenciación conceptual y jerárquica, y tenían poca o nula capacidad explicativa y predictiva. Sin embargo, los estudiantes con buenos resultados planteaban e interpretaban las soluciones de los problemas en términos físicos, sus mapas conceptuales contenían conceptos diferenciados, relacionados y jerarquizados, y tenían muy buena capacidad explicativa y predictiva.

Para acabar este apartado comentaremos algunas investigaciones más recientes sobre estrategias y resolución de problemas. En el estudio de Thevenot y Oakhill [27] se muestra que las estrategias de resolución de problemas de aritmética dependen en gran medida de la estructura organizativa de la representación mental construida a partir del enunciado del problema. Gök y Silay [28] han encontrado que los estudiantes instruidos en estrategias básicas (algunas metacognitivas) de resolución de problemas (que incluyen entre otras cosas el abordaje de resolución cualitativo y por pasos, análisis y control de cada paso y análisis de resultado final) y mediante una metodología de aprendizaje cooperativo, tienen puntuaciones mejores en resolución de problemas, actitudes y motivación. Erceg, Marušić y Sliško [29] haciendo uso de entrevistas y tests han podido categorizar a estudiantes universitarios y de secundaria en cinco grupos según su forma de resolver problemas de física. El grupo más exitoso en la resolución de problemas inició la resolución con una evaluación cualitativa de la situación física presentada, y un análisis y selección de las variables implicadas. En el resto de las categorías el enfoque cuantitativo inicial fue mayoritario.

III. METACOGNICIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El primer intento de generar un modelo formal de la metacognición fue presentado por Flavell [30]. Para Flavell la metacognición está implicada en la conciencia que se tiene de cómo se aprende, en la habilidad de juzgar la dificultad de una tarea, en el control de la comprensión, en el uso de determinada información para lograr un objetivo y en la evaluación del progreso en el aprendizaje. En el modelo propuesto por este autor se introdujo el concepto de conocimiento metacognitivo, que definió como el conocimiento o las creencias que se tienen sobre los factores que afectan a las actividades cognitivas (*saber cómo se adquiere el conocimiento*).

La mayoría de investigadores distinguen dos componentes de la metacognición, conocimiento de la cognición y regulación de la cognición, que están interrelacionados [13]. El conocimiento de la cognición

hace referencia a lo que sabemos sobre nuestra cognición o sobre la cognición en general. Este conocimiento, tiene las mismas propiedades que otros tipos de conocimiento, y puede ser declarativo (saber sobre “cosas”), procedimental (saber cómo hacer “cosas”), etc. El conocimiento de la cognición se desarrolla con la edad: los adultos suelen tener más conocimiento de su cognición y la describen mejor que los niños [31]. Por su parte, la regulación de la cognición se considera como el conjunto de actividades que ayudan a los estudiantes a controlar su aprendizaje. Las tres habilidades de regulación esenciales son la planificación, el control y la evaluación [32].

Varios trabajos han investigado la relación entre las habilidades metacognitivas y el desempeño académico [33, 34, 35, 36]. Una limitación de algunas de estas investigaciones es que se basan en informes elaborados por los propios estudiantes en los que ellos mismos valoran el uso de estrategias metacognitivas. El estudio de Otero, Campanario y Hopkins [37], sin embargo, desarrolla un instrumento de medida de la habilidad del control y comprensión de la metacognición (CMA) que no se basa exclusivamente en los informes elaborados por los propios estudiantes. Los resultados que obtienen estos investigadores, basados en el instrumento CMA, indican que la metacognición está significativamente relacionada con el desempeño académico, medido éste mediante las calificaciones en las diferentes asignaturas. Recientemente se ha utilizado este instrumento para valorar el control de la comprensión en estudiantes de 10º grado y estudiar la importancia de esta variable en la comprensión de la Biología de Secundaria [38]. Los resultados muestran que, tanto esta capacidad como el nivel de comprensión lectora son fundamentales para la comprensión de las teorías científicas y necesarias para lograr el cambio conceptual mediante instrucción.

En resolución de problemas las destrezas metacognitivas son fundamentales [39]. El desarrollo de estas destrezas permite a los estudiantes codificar la naturaleza del problema en forma de representaciones mentales (modelos mentales), seleccionar los planes más adecuados para resolver el problema e identificar y superar los obstáculos en el proceso de resolución [40]. De hecho Howard, McGee, Shia y Hong [41] dividen lo que ellos llaman la “autorregulación metacognitiva” en la resolución de problemas en cinco subcomponentes:

- Conocimiento de la cognición: conciencia del propio conocimiento y de los procesos implicados.
- Objetividad: conciencia de los objetivos y de las alternativas posibles para alcanzarlos
- Representación del problema: conciencia de las estrategias para comprender el problema antes de abordar su solución
- Control: descomposición del problema en pasos y análisis de cada paso.
- Evaluación: verificación de los procesos que se llevan a cabo durante la resolución.

Se ha comprobado que los expertos y solucionadores exitosos de problemas de física llevan a cabo un análisis

cualitativo del problema y reflexionan sobre el mismo, dentro de un esquema metacognitivo de planificación y control [42]. Por otra parte, Dhillon [43] muestra que los estudiantes que resuelven bien los problemas de física evalúan de forma constante su progreso en el avance hacia la solución. Además, se ha constatado que el control de la comprensión durante la resolución de problemas es decisivo para alcanzar su solución correcta. Así, Chi, Bassok, Lewis, Reimann y Glaser [14] en un estudio sobre las autoexplicaciones realizadas por estudiantes constatan que los buenos solucionadores de problemas detectan sus déficits de comprensión en mayor medida que los malos. Esta misma circunstancia fue descubierta por Ferguson-Hessler y de Jong [44], pero en su caso se investigaba la comprensión durante el estudio de un texto de física. Todos estos trabajos ponen de manifiesto diferencias en las destrezas metacognitivas de los estudiantes que resuelven con éxito los problemas y los que no lo tienen.

El trabajo de Stillman y Galbraith [45] revela la importantísima ayuda de las destrezas metacognitivas en la resolución de problemas. En concreto, localiza esta ayuda en: la comprensión del problema, la organización de la información, recuperar datos de la memoria a largo plazo, desarrollar y ejecutar planes, controlar el progreso del proceso de resolución y verificar el resultado final. Así pues, no es de extrañar que las destrezas metacognitivas sean un potente predictor del éxito en la resolución de problemas, incluso mejor que medidas estandarizadas [46]. No obstante, otro estudio destaca que los sujetos expertos cuando resuelven problemas muy sencillos para ellos utilizan en menor medida las habilidades metacognitivas que los inexpertos [41].

Artz y Armour-Thomas [47] plantean la relevancia de los procesos metacognitivos durante la resolución de problemas en pequeños grupos. Acaban concluyendo que las interacciones continuas entre las destrezas cognitivas y metacognitivas resultan transcendentales en la consecución correcta de la resolución de problemas.

Por fortuna, los estudiantes con pocos recursos metacognitivos no están condenados a un pobre desempeño en la resolución de problemas. Hay múltiples investigaciones que, de forma consistente, ponen de manifiesto que mediante un apropiado entrenamiento metacognitivo puede mejorarse la eficiencia en la resolución de problemas. A continuación comentaremos los trabajos que consideramos más destacables al respecto. En este sentido, Schraw, Crippen y Hardley [7] van todavía más lejos, y defienden la necesidad de impregnar de estrategias metacognitivas los diseños instruccionales de ciencias, y proponen distintas metodologías para esta finalidad.

Neto y Valente [48] utilizaron un grupo control, que siguió una metodología tradicional, y un grupo experimental, que fue adiestrado en el uso de estrategias metacognitivas en la resolución de problemas de física. Encontraron que tanto en problemas cualitativos como en cuantitativos el grupo experimental obtenía mejores resultados. Teong [49] también puso a prueba el efecto del

entrenamiento metacognitivo sobre la resolución de problemas. Los estudiantes del grupo experimental, entrenados para llevar a cabo decisiones de carácter metacognitivo y exponerlas, superaron al grupo de control en las puntuaciones de la prueba de resolución de problemas. Jiménez y Segarra [6] comprobaron, con una muestra de 240 estudiantes, que el desarrollo de habilidades metacognitivas durante un período de cinco meses, mejoró significativamente el desempeño en problemas de mecánica. Kapa [50] analizó el efecto de diversos tipos de instrucción en metacognición sobre la resolución de problemas, y encontró que siempre tenían un efecto positivo sobre los resultados.

En los experimentos de Longo, Anderson y Witch [51] se contrasta la eficacia de una nueva metodología instruccional que utiliza estrategias de aprendizaje metacognitivas de carácter visual. Los estudiantes que hicieron uso de estas estrategias obtuvieron resultados significativamente mejores en la resolución de problemas. Otra metodología instruccional que ha mostrado gran efectividad es la presentada por Lorenzo [52], denominada Heurístico de Resolución de Problemas. Esta metodología intenta ayudar a los estudiantes a comprender los pasos implicados en la resolución de problemas, así como proporcionarles un enfoque organizativo para abordar los problemas de un modo sistemático. Este enfoque guía hacia un razonamiento cualitativo antes que de realización rápida de cálculos, usando siempre una *estrategia hacia atrás* reflexiva de los pasos efectuados (herramienta metacognitiva). Su aplicación al aula requiere, entre otras cosas, la resolución de problemas en un ambiente de cooperación (trabajo en grupos).

Finalmente cabe resaltar el trabajo de Taconis, Fergusson-Hessler y Broekkamp [53] que, con la finalidad de conseguir una visión general de las estrategias de enseñanza innovadoras en la resolución de problemas, realizaron un análisis de los artículos publicados entre 1985 y 1995 en las revistas internacionales más prestigiosas del mundo. De este análisis se deduce que suministrar a los aprendices guías y criterios para poder juzgar sus procesos y productos durante la resolución de problemas, con una inmediata retroalimentación, parecen ser los prerrequisitos más importantes para adquirir habilidades adecuadas para el éxito en resolución de problemas.

IV. MOTIVACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Wolters y Rosenthal [54] definen la motivación como el conjunto de recursos que animan a una persona a implicarse en una tarea o a alcanzar un objetivo. En el ámbito académico, la motivación es la responsable de que los estudiantes trabajen para llegar a determinados resultados. Por otro lado, estos autores sostienen que la motivación está generada por:

- Creencias sobre la autoeficacia, que son nuestras ideas sobre nuestra habilidad para planificar y

ejecutar acciones que conduzcan hacia el logro de un determinado objetivo.

- Creencias sobre el valor de la tarea o evaluación que hacemos sobre el rendimiento que obtendremos del trabajo a realizar.
- Orientación hacia objetivos, que se refiere a la percepción de los motivos por los que vale la pena implicarnos en una tarea específica. Se puede distinguir una orientación hacia objetivos intrínseca y otra extrínseca [55]. La primera se da cuando un estudiante percibe que la participación en una actividad se produce por un reto personal, por curiosidad o por objetivos de aprendizaje concretos. En la segunda la participación viene guiada por motivos relacionados con la valoración y reconocimiento que otros darán al trabajo llevado a cabo, así como la entrada en competencia con otros.

Huitt [56], por su parte, categoriza las fuentes de motivación en extrínsecas (fuera de la persona) e intrínsecas (dentro de la persona). Las intrínsecas las divide en función de su origen en: biológicas, mentales (cognitivas, afectivas y conativas) y transpersonales o espirituales. Las extrínsecas tienen su origen en el condicionamiento operante y el reconocimiento social.

Cacioppo y Petty [57] introdujeron una variable motivacional, la necesidad de cognición, como una medida de la tendencia a implicarse y a esforzarse en una actividad cognitiva. Esto es, los sujetos con elevada necesidad de cognición tienen una motivación intrínseca en la realización de tareas complejas. Se ha descubierto que los estudiantes con una alta necesidad de cognición utilizan estrategias de aprendizaje que buscan la comprensión profunda de la información y el logro de objetivos [58].

Es de señalar que, sin embargo, las herramientas mas frecuentemente utilizadas en el diseño instruccional pasan por alto la motivación [59] y los científicos de la cognición han ignorado durante mucho tiempo la relación entre los procesos cognitivos y la motivación [60]. De hecho, fue en la última década del siglo pasado cuando los investigadores dirigieron su atención a la relación entre motivación y cognición [35,61]. En este sentido, el trabajo de Locke y Latham [62] muestra que parece existir una interacción entre ambas.

Diversos estudios han constatado la influencia de factores motivacionales tanto en el éxito académico [58, 63], como en la resolución de problemas [60, 64, 65, 66]. Por otra parte, en el trabajo de Schraw, Brooks y Crippen [67] se destacan las correlaciones existentes entre motivación, metacognición y aprendizaje. En esta línea, se ha encontrado una correlación significativa entre la necesidad de cognición (una componente motivacional) y la metacognición [68]; y entre la necesidad de cognición y el éxito en la resolución de problemas [64]. Marcou y Philippou [65] obtienen una relación de elevado nivel de confianza entre creencias motivacionales y aprendizaje autorregulado (metacognición), así como una relación estadísticamente significativa entre autoeficacia y

orientación intrínseca hacia objetivos (ambas componentes motivacionales) y desempeño en la resolución de problemas.

En la investigación de Song y Grabowski [69] se pone en evidencia la posibilidad de promover la motivación intrínseca en la resolución de problemas mediante contextos de orientación hacia el aprendizaje y el trabajo en grupos de estudiantes. El contexto de orientación hacia el aprendizaje utilizado por estas autoras en su investigación se sitúa en un diseño instruccional que incluye “mensajes” donde se informa a los estudiantes de la importancia de abordar determinadas actividades “desafiantes” y del valor de lo que están aprendiendo *per se*.

V. IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Hasta aquí se ha puesto de relieve el papel que desempeñan las estrategias cognitivas y metacognitivas en las tareas resolución de problemas. A partir de todo ello, vamos a plantear a continuación algunas posibles medidas instruccionales que pueden ser útiles para los profesores de ciencias:

- Proveer a los estudiantes de diversas, continuas y prolongadas experiencias de resolución de problemas. De acuerdo con Johnstone [70], se tienen tres variables asociadas a los problemas: los datos proporcionados, la metodología que se utiliza y los objetivos que se persiguen. Una vez los estudiantes han derivado y comprendido los procedimientos de resolución en problemas básicos (aplicación de algoritmos), deberían adquirir práctica en resolución de problemas de otro tipo. Por ejemplo, problemas no familiares para el estudiante que requieren aplicación de conocimiento conceptual, capacidad de análisis y de síntesis, llevar a cabo conexiones, tomar decisiones, evaluar los razonamientos, etc. Es también importante practicar estrategias de resolución de problemas familiares a través de múltiples contextos para estimular la generalización.
- Para desarrollar las destrezas cognitivas y metacognitivas en la resolución de problemas, se debe empezar con las cognitivas específicas para, poco a poco, acabar en la metacognitivas, que requieren mayor capacidad cognitiva y razonamiento abstracto [13]. Una buena manera de impulsar estas habilidades en la enseñanza puede ser en el uso de heurísticos que contengan pasos a seguir en la resolución de problemas [52].
- Ofrecer actividades de carácter metacognitivo como parte del currículo científico. Tales actividades deben tratar, entre otros aspectos, la existencia de diferentes tipos de conocimiento (declarativo, procedimental, situacional, etc.) [71], la importancia del conocimiento esquemático de problemas [72], y la explicación del papel de las

estrategias/habilidades metacognitivas en los distintos pasos o procesos de resolución de problemas. Se ha de tener presente el papel decisivo que pueden desempeñar estas estrategias/habilidades en los siguientes pasos de resolución de un problema: planificación, control de progreso, verificación e interpretación de los resultados [73]. Hollingworth y McLoughlin [3] proporcionan un completo programa *on-line* para desarrollar habilidades metacognitivas en la resolución de problemas. Se trata de un programa que se ha aplicado en estudiantes de primer curso universitario, y con él parece que se desarrollan estrategias y procesos reflexivos que inducen a definir, planificar y autocontrolar los razonamientos durante la resolución de problemas.

- Es necesario impregnar de componentes motivacionales todo el proceso de enseñanza de la resolución de problemas. El diseño instruccional debe recoger procedimientos que permitan mejorar las ideas de los estudiantes sobre su autoeficacia y sobre el valor de las tareas que están realizando. El contexto en el que se desarrolla el aprendizaje ha de promover una orientación hacia objetivos donde siempre sea destacada la importancia de implicarse en el trabajo que se propone y los beneficios que ello comporta. En este contexto es fundamental el trabajo colaborativo en grupos. El modelo de aprendizaje ICML (*Interactive Compensatory Model of Learning*) propuesto por Brooks y Shell [59] recoge en buena medida estas orientaciones. Su modelo se construye a partir de cinco pilares fundamentales: destrezas cognitivas, organización de una base de conocimiento, estrategias, metacognición y motivación.

REFERENCIAS

- [1] Freitas, I. M., Jiménez, R. & Mellado, V., *Solving physics problems: The conceptions and practice of an experienced teacher and an inexperienced teacher*, Research in Science Education **34**, 113-133 (2004).
- [2] Hobden, P., The role of routine problem tasks in science teaching. In B. J. T. Fraser (Ed.), *International Handbook of Science Education*. (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 219-231, 1998).
- [3] Hollingworth, R. W., & McLoughlin, C., *Developing science students' problem solving skills online*, Australian Journal of Educational Technology **17**, 50-63 (2001).
- [4] Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V. *Cognitive variables in science problem solving: A review of research*, Journal of Physics Teachers Education Online **4**, 25-32 (2007). Retrieved April 28, 2008, from <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>.
- [5] Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., *Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: consecuencias para la enseñanza*. Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación **1**, 147-162 (2008).
- [6] Jiménez, E., & Segarra, P., Metacognitive abilities in physics problem solving. In E. Mechlova (Ed.), *GIREP Conference 2004 Proceedings: Teaching and Learning Physics in new contexts* (pp. 159-160, 2004). Retrieved August 30, 2009, from www.girep.org/proceedings/proceedings.html?volume=8
- [7] Schraw, G., Crippen, K. J., & Harley, K., *Promoting self-regulation in science education: metacognition as part of a broader perspective on learning*, Research in Science Education **36**, 111-139 (2006).
- [8] Cornford, I. R., *Learning-to-learn strategies: Neglected aspects of lifelong learning policy formulation*, Australian Vocational Education Review **7**, 9-21 (2000).
- [9] Correa, M. E., Castro, F. y Lira, H., *Estudio descriptivo de las estrategias cognitivas y metacognitivas de alumnos y alumnas de primer año de Pedagogía de la Universidad de Bío-Bío*, Theoría **13**, 103-110 (2004).
- [10] Flavell, J. H., *El desarrollo cognitivo*, (Prentice Hall, Madrid, 1996).
- [11] Weinstein, C. E., & Meyer, D. K., *Cognitive learning strategies and college teaching*, New Directions For Teaching And Learning, **45** (Spring), 15-26, (1991).
- [12] Weinstein, C. E., & Meyer, D. K., Learning strategies, teaching and testing. In T. Husen & T. N. Postlethwaite (Eds), *The International Encyclopedia of Education*, (Pergamon Press, 2nd Edition, Oxford, 1994), pp. 3335-3340.
- [13] Schraw, G., *Promoting general metacognitive awareness*, Instructional Science **26**, 113-125 (1998).
- [14] Chi, M., Bassock, M., Lewis, M., Reimann, P., & Glaser, R., *Self explanations: How students study and use examples in learning to solve problems*, Cognitive Science, **13**, 145-182 (1989).
- [15] Bielaczyc, K., Pirolli, P. L., & Brown, A. L., *Training in self-explanation and self-regulation strategies: Investigating the effects of knowledge acquisition activities on problem solving*, Cognition and Instruction **13**, 221-252 (1995).
- [16] Sternberg, R., *Metacognition, abilities and developing expertise: What makes an expert student?*, Instructional Science **26**, 127-140 (1998).
- [17] Cornford, I. R., *Learning-to-learn strategies as a basis for effective lifelong learning*, International Journal of Lifelong Education **21**, 357-368 (2002).
- [18] Simon, D. P., & Simon, H. A., Individual differences in solving physics problems. In R. Sigler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (L. Erlbaum, Hillsdale, 1978), pp. 325-348.
- [19] Anderson, J., Greeno, J., Kline, P., & Neves, D., Acquisition of problem solving skill. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. (L. Erlbaum, Hillsdale, 1981).

- [20] Priest, A.G. & Lindsay, R.O., *New Light on Novice-Expert differences in physics problem solving*, British Journal of Psychology **83**, 389-405 (1992).
- [21] Singh, C., *When physical intuition fails*, American Journal of Physics **70**, 1103-1109 (2002).
- [22] McDermott, J. & Larkin, J. H., Re-representing textbooks physics problems. *Proceedings of the 2nd Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence* (U. Press, Toronto, 1978).
- [23] Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon H. P., *Expert and novice performance in solving physics problems*, Science **208**, 1335-1342 (1980).
- [24] Schoenfeld, A., What's all the fuss about metacognition? In A. Schoenfeld (Ed.), *Cognitive science and mathematics education*. (L. Erlbaum, Hillsdale, 1987), pp. 189-215.
- [25] Santos, M. T., *Students' recognition of structural features in mathematical problem solving instruction*. Paper presented at the annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (17th, Columbus O. H., October 21-24, 1995).
- [26] Greca, I. M. & Moreira, M. A., *Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo*, Enseñanza de las Ciencias, **16**, 289-303 (1998).
- [27] Thevenot, C. y Oakhill, J., *Representations and strategies for solving dynamic and static arithmetic word problems: The role of working memory capacities*, European Journal of Cognitive Psychology **18**, 756-775 (2006).
- [28] Gök, T. & Silay, I., *The effects of problem solving strategies on students' achievement, attitude and motivation*, Latin American Journal of Physics Education **4**, 7-21 (2010). Retrieved July 30, 2011, from www.journal.lapen.org.mx/
- [29] Erceg, N., Marušić, M. & Sliško, J., *Students' strategies for solving partially specified physics problems*, Revista Mexicana de Física E **57**, 44-50 (2011).
- [30] Flavell, J. H., *Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry*, American Psychologist **34**, 906 - 911 (1979).
- [31] Baird, J. R. & White, R. T., Metacognitive strategies in the classroom. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.). *Improving teaching and learning science and mathematics*. (Teachers College Press, New York, 1996), pp. 190-200.
- [32] Schraw, G., & Moshman, D., *Metacognitive theories*, Educational Psychology Review **7**, 351-371 (1995).
- [33] Leal, L., *Investigation of the relation between metamemory and university students' examination performance*, Journal of Educational Psychology **79**, 35-40 (1987).
- [34] Pintrich, P. R. and DeGroot, E. V., *Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance*, Journal of Educational Psychology **82**, 33-40 (1990).
- [35] Pokay, P. and Blumenfeld, P. C., *Predicting achievement early and late in the semester: The role of motivation and use of learning strategies*, Journal of Educational Psychology **82**, 41-50 (1990).
- [36] Wang, M.C.; Haertel, G.D. y Walberg, H.J., *Toward a knowledge base for school*, Review of Educational Research, **63**, 249-294 (1993).
- [37] Otero, J., Campanario, J. M. and Hopkins, K. D., *The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students*, Educational and Psychological Measurement **52**, 419-430 (1992).
- [38] Fernández Rivera, J. Sanjosé, V., & Otero, J., *Influencia del nivel de control de la comprensión y del nivel de comprensión lectora en el aprendizaje de la evolución*. Comunicación presentada al XX Congreso de ENCIGA, Asociación dos Ensinantes de Ciéncias de Galicia (Actas del Congreso, Sanxenxo, 2007), pp. 53-55.
- [39] Mayer, R. E., *Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem-solving*, Instructional Science **26**, 49-63, (1998).
- [40] Davidson, J. E. & Sternberg, R. J., Smart problem solving: how metacognition helps. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.) *Metacognition in educational theory and practice* (L. Erlbaum, Mahwah N. J., 1998), pp.47-68.
- [41] Howard, B. C., McGee, S., Shia, R., & Hong, N., *The influence of metacognitive self-regulation and ability levels on problem solving*. Paper presented at the Annual meeting of the AERA (Seattle, WA, 2001). Retrieved July 5, 2009, from www.cet.edu/pdf/AERA2001BHsral.pdf
- [42] Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H., *Factors influencing the learning of classical mechanics*, American Journal of Physics **48**, 1074-1079 (1980).
- [43] Dhillon, A., *Individual differences within problem-solving strategies used in physics*. Science Education **82**, 379-405 (1998).
- [44] Fergusson-Hessler, M. G. M. & de Jong, T., *Studying physics texts: differences in study processes between good and poor performers*, Cognition and Instruction **7**, 41-54 (1990).
- [45] Stillman, A., & Galbraith, L., Applying mathematics with real world connections: Metacognitive characteristics of secondary students, Educational Studies in Mathematics **36**, 157-195 (1998).
- [46] Swanson, H. L., Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving, Journal of Educational Psychology **82**, 306-314 (1990).
- [47] Artz, A. F., & Armour-Thomas, E., *Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups*, Cognition and Instruction **9**, 137-175 (1992).
- [48] Neto, A., & Valente, M., *Problem solving in physics: Towards a metacognitively developed approach*. Paper presented at Annual Meeting (70th) of the National Association for Research in Science Teaching (Oak Brook, 1997).
- [49] Teong, S. K., *The effect of metacognitive training on mathematical word-problem solving*, Journal of Computer Assisted Learning **19**, 46-55 (2003).

- [50] Kapa, E., *Transfer from structured to open-ended problem solving in a computerized metacognitive environment*, Learning and Instruction **17**, 688-707 (2007).
- [51] Longo, P. J., Anderson, O. R., & Wicht, P., *Visual Thinking Networking promotes problem solving achievement for 9th Grade earth science students*, Electronic Journal of Science Education **7**, Article seven (2002). Retrieved November 20, 2009, from <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>
- [52] Lorenzo, M., *The development, implementation, and evaluation of a problem solving heuristic*, International Journal of Science and Mathematics Education, **3**, 33-58 (2005).
- [53] Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G. M., & Broekkamp, H., *Teaching science problem solving: An overview of experimental work*, Journal of Research in Science Teaching, **38**, 442-468 (2001).
- [54] Wolters, C. A., & Rosenthal, H., *The relation between students' motivational beliefs and their use of motivational regulation strategies*, International Journal of Educational Research **33**, 801-820 (2000).
- [55] Hamilton, R., & Ghatala, E., *Learning and instruction*, (McGraw-Hill, New York, 1994).
- [56] Huitt, W., *Motivation to learn: An overview*. Educational Psychology Interactive (Valdosta State University, Valdosta, 2001). Retrieved January 2010, from <http://www.edpsycinteractive.org/topics/motivation/motivate.html>
- [57] Cacioppo, J. T., & Petty, R. E., *The need of cognition*. Journal of Personality and Social Psychology **42**, 116-131 (1982).
- [58] Sadowski, C., & Gulgoz, S., *Elaborative processing mediates the relationship between the need for cognition and academic performance*, The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied **30**, 303-307 (1996).
- [59] Brooks, D. W., & Shell, D. F., *Working memory, motivation, and teacher-initiated learning*, Journal of Science Education and Technology **15**, 17-30 (2006).
- [60] Wieth, M., & Burns, B. D., *Motivation in insight versus incremental problem solving*. In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceedings of the 22 Annual Conference of the Cognitive Science Society* (L. Erlbaum, Mahwah, N. J., 1999), pp.559-564.
- [61] Vollmeyer, R., & Rheinberg, F., *Goals, strategies, and motivation*. In M. A. Gernsbacher & S. J. Derry (Eds.), *Proceedings of the 21 Annual Conference of the Cognitive Science Society* (L. Erlbaum, Mahwah, N. J., 1998), pp. 1090-1095.
- [62] Locke, E. A. & Latham, G. P., *A theory of goal setting and task performance* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1990).
- [63] Coutinho, S. A., *The relationship between goals, metacognition and academic success*, Educate **7**, 39-47 (2007).
- [64] Coutinho, S. A., Wiemer-Hastings, K., Skowronski, J. J., & Britt, M. A., *Metacognition, need for cognition and use of explanations during ongoing learning and problem solving*, Learning and Individual Differences **15**, 321-337 (2005).
- [65] Marcou, A., & Philippou, G., *Motivational beliefs, self-regulated learning and mathematical problem solving*. In H. L. Chick & J. L. Vincent (Eds.), *Proceedings of the 29 Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (PME, Melbourne, Vol.3, 2005), pp 297-304.
- [66] Beal, C. R., & Stevens, R. H., *Student motivation and performance in scientific problem solving simulations*. In R. Luckin, K. R. Koedinger, & J Greer (Eds.), *Artificial intelligence in education: Building technology rich learning contexts that works* (IOS Press, Amsterdam, 2007), pp. 539-541.
- [67] Schraw, G., Brooks, D., & Crippen, K. J., *Improving Chemistry teaching using an interactive, compensatory model of learning*, Journal of Chemical Education **82**, 637-640 (2005).
- [68] Coutinho, S. A., *The relationships between the need for cognition, metacognition, and intellectual tasks performance*, Educational Research and Reviews **1**, 162-164 (2006).
- [69] Song, H. D. & Grabowski, B. L., *Stimulating intrinsic motivation for problem solving using goal-oriented contexts and peer composition*, Educational Technology Research & Development **54**, 445-466 (2006).
- [70] Johnstone, A. H., Introduction. In C. Wood and R. Sleat (Eds.), *Creative problem Solving Chemistry* (The royal Society of Chemistry, London, 1993).
- [71] Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., *Types of knowledge and their relations to problem solving in science: directions for practice*, Sísifo Educational Sciences Journal **6**, 105-112 (2008). Retrieved July 10, 2009, from <http://sisifo.fpce.ul.pt>
- [72] Friege, G., & Lind G., *Types and qualities of knowledge and their relation to problem solving in physics*, International Journal of Science and Mathematics Education **4**, 437-465 (2006).
- [73] Abdullah, F. A. P. B., *The pattern of Physics problem-solving from the perspective of metacognition*, (Master dissertation, University of Cambridge, 2006). Retrieved January 12, 2008, from <http://people.pwf.cam.ac.uk/kst24/ResearchStudents/Abdullah2006metacognition.pdf>